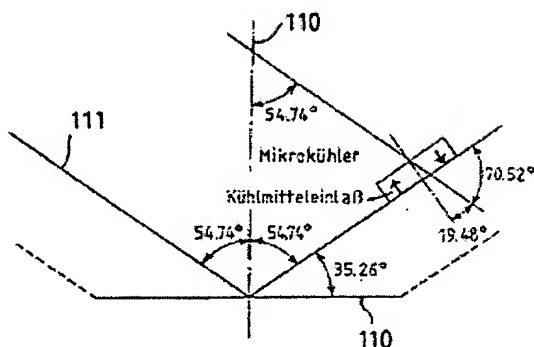


Mfr. of silicon microchannel coolers for high-power laser diodes

Patent number: DE4335512
Publication date: 1995-06-01
Inventor: HEINEMANN STEFAN DIPL PHYS (DE); PEUSER PETER DR (DE); SEIDEL HELMUT DIPL PHYS (DE); VOS RALF DR (DE); MEHNERT AXEL DIPL ING (DE); SCHMITT NIKOLAUS DIPL PHYS (DE)
Applicant: DAIMLER BENZ AEROSPACE AG (DE)
Classification:
- international: H01S3/043; H01L23/473
- european: H01L23/473; H01S5/022; H01S5/024
Application number: DE19934335512 19931019
Priority number(s): DE19934335512 19931019

Abstract of DE4335512

Uniform temp. distribution over the leading and trailing edges (6,7) of the cooler is achieved by use of the min. etch rate



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

12 Patentschrift
10 DE 43 35 512 C 2

51 Int. Cl.⁶:
H 01 S 3/043
H 01 L 23/473

21 Aktenzeichen: P 43 35 512.9-33
22 Anmeldetag: 19. 10. 93
43 Offenlegungstag: 1. 6. 95
46 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 5. 6. 96

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:

Daimler-Benz Aerospace Aktiengesellschaft, 80804
München, DE

72 Erfinder:

Heinemann, Stefan, Dipl.-Phys., 81379 München, DE;
Peuser, Peter, Dr., 85521 Riernering, DE; Seidel,
Helmut, Dipl.-Phys., 82319 Starnberg, DE; Voß, Ralf,
Dr., 82319 Starnberg, DE; Mehnert, Axel, Dipl.-Ing.,
86956 Schongau, DE; Schmitt, Nikolaus, Dipl.-Phys.,
80797 München, DE

66 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:

US 51 05 430
US 51 05 429

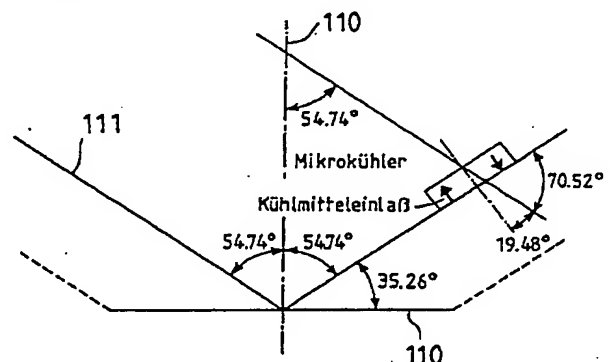
IEEE J. Quantum Electronics, Vol. 28 (1992),
S. 966-976;

Appl. Phys. Letters, Vol. 53 (1988), S. 1030-1032;

»Micromaching and Micropackaging of
Transducers«, herausgegeben von C.D. Fung et.al.,
Elsevier Science Publishers B.V.,
Amsterdam 1985, S. 215-222;

64 Silizium-Mikrokanalkühler zur Kühlung von Hochleistungslaserdioden

57 Silizium-Mikrokanalkühler zur Kühlung von Hochleistungs-
laserdioden unter Verwendung unterschiedlicher Ätzraten
mittels anisotropen Ätzverfahrens verschiedener kristallo-
graphischer Ebenen des Siliziums in alkalischen Laugen,
wobei sich die geringste Ätzrate entlang der (111)-Ebene
einstellt, die bei Verwendung eines Siliziumwafers mit einer
(110)-Orientierung senkrecht zur Wafer-Oberfläche steht,
dadurch gekennzeichnet, daß auf einem (110)-Siliziumwafer
unter Ausnutzung beider (111)-Ätzstoppebenen gleichzeitig
sowohl die Mikrokanäle (3) als auch die Kanäle für die
Kühlmittelzufuhr (8) und die Kühlmittelaustrittsöffnung (9)
eines Mikrokanalkühlers strukturiert sind, dessen Kühlervor-
derkante und -rückkante (7, 8), welche sich nach der
Vereinzelung des Siliziumwafers (13, 14) ergeben, parallel zu
einer der beiden (111)-Ebenen ausgerichtet sind, welche
ebenso zur einseitigen Begrenzung des Kühlmittelzu- und
-abfuhrbereiches dient, und dessen Mikrokanäle (3) parallel
zur zweiten (111)-Ätzstoppebene angeordnet sind, wobei
diese mit der Kühlervorderkante (7) einen Winkel von 70.5°
bilden und die Enden der Mikrokanalstege zur einseitigen
Begrenzung des Kühlmittelzu- und -abfuhrbereiches dienen,
welche sich in der Ebene der Mikrokanäle (3) befinden und
gemeinsam mit den Mikrokanälen (3) mittels eines Deckwa-
fers aus Pyrexglas (13, 14) einen Kühlmittelkreislauf bildend
verschlossen wird.



DE 43 35 512 C 2

DE 43 35 512 C 2

Die Erfindung bezieht sich auf einen Mikrokanalkühler zur Kühlung von Hochleistungslaserdioden gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Hochleistungslaserdioden auf der Basis von GaAs/GaAlAs bzw. InP/InGaAsP oder ähnlichen Materialien werden in zunehmenden Maße als sehr kompakte und zuverlässige Strahlquellen eingesetzt. Durch Anlegen eines elektrischen Stromes an derartige Halbleiterbauelemente wird optische Strahlung an einem pn-Übergang durch die Rekombination von gegensätzlich geladenen Ladungsträgern erzeugt. Typische Ausdehnungen dieser optisch aktiven Schicht liegen bei 1 µm Dicke und einer, durch die optische Ausgangsleistung bestimmten Breite. Stand der Technik ist entweder eine Array-Struktur, bei der mehrere aktive Zonen in einer Ebene angeordnet sind und durch optisch inaktive Bereiche voneinander getrennt sind, oder eine Breitstreifen-Struktur, deren optisch aktive Zone nicht unterbrochen ist.

Die Breite der aktiven Zone kommerziell erhältlicher Laserdioden mit einer beispielhaften Ausgangsleistung von 1 W Dauerstrich liegen im Falle der Array-Struktur bei etwa 200 µm, bei der Breitstreifen-Struktur bei etwa 50 µm.

Die geometrischen Abmessungen dieses beispielhaften Halbleiterbauelementes liegen bei etwa 400-600 µm Grundfläche und einer Dicke von etwa 100 µm.

In letzter Zeit wurden kommerziell Laserdioden mit einer Array-Struktur verfügbar, die optische Ausgangsleistungen bis 20 W Dauerstrich liefern. Die geometrischen Abmessungen dieser Laserdioden liegen typischerweise bei einer Breite von 10 mm, einer Länge von 600 µm und einer Dicke von etwa 100 µm.

Diese Halbleiterbauelemente weisen einen elektrischen zu optischen Wirkungsgrad von etwa 30% auf. Die restliche elektrische Leistung muß als Verlustwärme abgeführt werden. Nach dem Stand der Technik werden hierzu Peltierelemente, massive Kupfer-Kühler, mit Kühlmittel durchflossene Wärmetauscher und in letzter Zeit auch Mikrokühler verwandt. Letztere zeichnen sich dadurch aus, daß durch die Abformung kleiner Kanalstrukturen in ein Material guter Wärmeleitung die Wärmeübertragungsfläche erheblich vergrößert wird. Derartige Strukturen wurden bisher in Kupfer und Aluminium-Nitrid-Keramik mittels Sägen, und in Silizium sowohl mittels Sägen als auch mittels anisotropen Ätzen erzeugt (D. Munding et al., Appl. Phys. Lett., Vol. 53 (1988), S. 1030-1032). Wird durch die Kanäle ein Kühlmittel, beispielsweise Wasser, mit einem Druck von etwa 2 bar gepreßt, so können Verlustleistungsdichten von bis zu 1 kW/cm² abgeführt werden (Tuckerman and Pease, IEEE Electron Device Letters, Vol. EDL-2 (1981) S. 126-129).

Die Herstellung von Silizium-Mikrokühlern mittels anisotropen Ätzen ist mehrfach in der Literatur beschrieben worden (R. Philipps, "The Lincoln Laboratory Journal", Vol. 1 (1988) S. 31-48 oder IEEE J. Quantum Electronics, Vol. 28 (1992), S. 966-976) und beruht im wesentlichen auf der unterschiedlichen Ätzrate verschiedener kristallographischer Ebenen des Siliziums in alkalischen Laugen, beispielsweise KOH. Die geringste Ätzrate stellt sich entlang der (111)-Ebene ein, die bei Verwendung eines Siliziumwafers mit einer (110)-Orientierung senkrecht zur Wafer-Oberfläche steht. Auf diese Weise lassen sich Kanäle mit großem Aspektverhältnis (Verhältnis von Tiefe zu Breite) erzeugen. Typische Ab-

messungen dieser Kanäle liegen bei einer Breite von etwa 25 µm, einer Tiefe von 200 µm bis 400 µm und einer Breite der verbleibenden Siliziumstege von ebenfalls etwa 25 µm.

Aus dem Buch "Micromachining and Micropackaging of Transducers", herausgegeben von C.D. Fund et al., Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam 1985, S. 215-222 sind neben- bzw. hintereinanderliegende V-förmige Kanäle beschrieben, die miteinander verbunden sind und Kühlkapillaren in einem Siliziumblock bilden.

Durch Verbindung mit einem weiteren Wafer werden die so gefertigten Kanäle verschlossen. Dieser Wafer kann entweder aus Glas oder aus Silizium bestehen, was jedoch entsprechende Verbindungstechniken erfordert. Im Falle von Glas wird die Verbindung durch anodisches Bonden, im Falle von Silizium durch Silizium-Silizium Hochtemperaturbonden hergestellt. Im einfachsten Fall sind mittels Ultraschallbohren bzw. Ätzen in diesen Abschlußwafer Löcher für die Wasserzu- und -abführung jedes einzelnen Kühlers gefertigt worden.

Die Oberseite des strukturierten Siliziumwafers wird mit einer geeigneten Metallisierung, welche die Montage der Laserdiode und deren elektrische Kontaktierung erlaubt, versehen. Beispielsweise wird zur Haftvermittlung eine 25 nm dicke Schicht Chrom auf das Silizium und hierauf eine 500 nm dicke Goldschicht aufgedampft. Das Gold ermöglicht zum einem die elektrische Kontaktierung der Laserdiode und dient zum anderen als lötfähige Schicht.

Die hohen Lebensdauern, die schmale Linienbreite des Emissionsspektrums sowie die verfügbaren Wellenlängen und optischen Ausgangsleistungen und nicht zuletzt der hohe Wirkungsgrad eröffneten den Laserdioden in letzter Zeit auch zunehmend den Einsatzbereich als optische Pumpquellen von Festkörperlasern aller Leistungsbereiche. Die Erzeugung hoher Festkörperlaserleistungen stellt neue Anforderungen an die Kühlung und die Anordnung möglichst vieler Laserdioden auf kleinstem Raum.

Eine hohe Packungsdichte der Laserdioden bei gleichzeitig sehr effizienter Kühlung läßt sich mittels Silizium-Mikrokühler realisieren und wurde beispielsweise in den US-PS'en 5,105,429 und 5,105,430 beschrieben. In diesen Schriften wird eine Stapelung von Mikrokühlern, welche aus drei verschiedenen Siliziumwafern zusammengesetzt sind und auf denen einseitig Hochleistungslaserdioden montiert sind vorgestellt.

In der US-PS 5,105,429 werden zwei Siliziumwafer mit einem Zulauf für die Mikrokanäle und mit Mikrokanälen strukturiert (Fig. 8). Die Mikrokanäle laufen hierbei parallel zur Emissionsrichtung der Laserdiode. Außerdem sind Öffnungen in beiden Siliziumwafern erforderlich, um die Wasserzu- und -abführung nach Stapelung der Mikrokühler zu gewährleisten. Die beiden Siliziumwafer werden mittels eines Glaswafers, der einen Wasserdurchlaß vom unteren zum oberen Wafer enthält, verbunden. Anschließend wird eine entsprechende Metallisierung des Kühlers vorgenommen, welche auch die seitlichen Kanten des Kühlers miteinschließt (Fig. 9). Auf einen derartigen Kühler wird die Laserdiode unmittelbar oberhalb der Mikrokanäle montiert. Diese Einheiten lassen sich anschließend zu einer zweidimensionalen Anordnung aufeinander stapeln (Fig. 10).

Die US-PS 5,105,430 beschreibt einen ähnlichen Aufbau, jedoch anderer Ausführungsform (Fig. 11). Der Siliziumwafer, welcher später als Träger der Laserdiode

dient, wird mit Mikrokanälen, die senkrecht zur Emissionsrichtung der Laserdiode orientiert sind, versehen. Außerdem enthält er mehrere Durchführungen zur Wasserzu- und -abfuhr. Dieser Wafer wird mittels Silizium-Silizium Hochtemperaturbonden mit einem weiteren Siliziumwafer verbunden, der Kanalstrukturen für die Wasserversorgung der Mikrokanäle enthält. Dieser Wafer wiederum wird mittels eines weiteren Wafers, vorzugsweise aus Silizium, verbunden, um die Kanalstruktur zu verschließen. Um den Temperaturgradienten entlang der Laserdiode bzw. der Mikrokanäle zu minimieren, sind mehrere Wasserzu- und abführungen derselben vorgesehen. Dies bedingt jedoch, daß sich oberhalb der Wasserabführungen aufgrund der entgegengesetzten Fließrichtung des Wassers in den Mikrokanälen Bereiche mit minimalem Druck, bzw. minimaler Fließgeschwindigkeit ausbilden, wodurch die Kühleffizienz verschlechtert wird.

Dieser Kühler wird nach der Verbindung der drei Wafer entsprechend metallisiert, wobei wiederum die Kanten, die sich nach der Vereinzelung der Mikrokühler ergeben, ebenfalls metallisiert werden. Auf den Kühler wird nun die Laserdiode montiert, und anschließend können diese Einheiten zu einer zweidimensionalen Anordnung zusammengefügt werden (Fig. 12).

Nachteile dieser Anordnung liegen in der Beschränkung auf die einseitige Montage der Laserdioden auf die Mikrokühler und damit verbunden eine nicht optimierte Strahldichte der zweidimensionalen Anordnung von Laserdioden, sowie der Anordnung der Kühlkanäle senkrecht zur optischen Achse der Laserdiode, so daß zur Minimierung des Temperaturgradienten mehrere Ein- bzw. Auslässe nötig sind, welche jedoch Punkte minimaler Kühlung definieren. Weiterhin müssen zur Herstellung dieses Kühlers zwei Wafer, vorzugsweise aus Silizium, strukturiert werden und mit einem dritten Wafer verschlossen werden, was die Packungsdichte begrenzt und die Herstellungskosten erhöht.

Beiden Ausführungsformen nach den Patentschriften ist der Nachteil gemein, daß die elektrische Kontaktierung der Laserdioden durch eine entsprechende Metallisierung der Mikrokanalkühler erfolgt, die sich auch auf die Kanten derselben erstreckt. Die Kanten ergeben sich jedoch erst nach Vereinzelung der Mikrokühler, so daß der gesamte Kühler nicht bis zuletzt im sogenannten batch-processing-Verfahren hergestellt werden kann. Die Einzelbehandlung der Kühler bedingt aber erhöhte Herstellungskosten.

Des weiteren ist die Metallisierung der Mikrokanalkühler in beiden Fällen so ausgeführt, daß ein unmittelbarer Kontakt zwischen Strom- und Wasserführung entsteht, was für zahlreiche Anwendungen nicht wünschenswert ist.

Als weiterer Nachteil beider oben beschriebener Ausführungsformen ergibt sich die nötige Strukturierung zweier Siliziumwafer zur Herstellung eines Kühlers, was erhöhte Herstellungskosten bedingt.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, einen Mikrokanalkühler zur Kühlung von Hochleistungsbauelementen am Beispiel von Hochleistungslaserdioden aufzuzeigen, welcher frei von den oben beschriebenen Nachteilen ist, nur einen Siliziumwafer aufweist, indem die Wasserzu- und -abfuhrung für jeden einzelnen Kühler in der Ebene der Kanäle erfolgt, außerdem eine Minimierung des Temperaturgradienten in der Laserdiode in Richtung senkrecht zum Strahlaustritt erlaubt und die Möglichkeit der Montage der Laserdiode an den Rand des Mikrokühlers durch die Ausnützung der beiden

(111)-Ätzstoppebenen sicherstellt.

Weiterhin soll die elektrische Kontaktierung der Laserdiode derart ausgeführt sein, daß ein batch-processing bis zur Fertigstellung der Kühler möglich ist und die Stromführung von der Wasserführung räumlich getrennt ist.

Diese Aufgabe wird durch die im Anspruch 1 aufgeführten Maßnahmen gelöst. In der Unteransprüchen sind Ausgestaltungen und Weiterbildungen angegeben und in der nachfolgenden Beschreibung sind Ausführungsbeispiele erläutert und in den Figuren der Zeichnung skizziert. Diese Figuren ergänzen gleichzeitig die Erläuterungen. Es zeigen:

Fig. 1 eine Skizze bezüglich der Lage der (111)-Kristallebenen in einem (110) Siliziumwafer, schematisch dargestellt ist die Orientierung der erfindungsgemäßen Mikrokühler;

Fig. 2 eine Prinzipskizze des erfindungsgemäßen Mikrokühlers, schraffiert sind die Kanäle auf der Kühlerückseite und punktiert die Metallisierung auf der Kühleroberseite eingezeichnet;

Fig. 3 einen Schnitt durch einen zweiseitig gekühlten Mikrokühler, die strukturierten Metallisierungsschichten sind angedeutet;

Fig. 4 eine Prinzipskizze eines zweiseitig gekühlten Mikrokühlers, auf den beidseitig Heatspreader und Laserdioden montiert wurden;

Fig. 5 einen Schnitt durch einen erfindungsgemäßen Mikrokühler, dessen Wasserverschlußplatte gleichzeitig als Heatspreader dient und somit eine beidseitige Montage von Laserdioden gewährleistet;

Fig. 6 eine Darstellung eines erfindungsgemäßen Pumpmoduls einschließlich der strukturierten Leiterplatte, welche zur elektrischen Kontaktierung dient;

Fig. 7 eine zweidimensionale Anordnung der erfindungsgemäßen Mikrokühler;

Fig. 8 eine Darstellung eines Silizium-Mikrokanalkühlers nach dem Stand der Technik, wobei die Mikrokanäle parallel zur Emissionsrichtung der Laserdiode und die Ein- oder Auslaßbereiche für das Kühlmedium in der Ebene der Mikrokanäle angeordnet sind, entnommen aus der US-PS 5,105,429;

Fig. 9 einen Teilquerschnitt durch eine Metallisierung des Silizium-Mikrokanalkühlers gemäß Fig. 8 nach dem Stand der Technik, entnommen aus der US-PS 5,105,429;

Fig. 10 eine zweidimensionale Anordnung der Silizium-Mikrokanalkühler gemäß Fig. 8 mit montierten Laserdioden nach dem Stand der Technik, entnommen aus US-PS 5,105,429;

Fig. 11 eine Darstellung eines Silizium-Mikrokanalkühlers nach dem Stand der Technik, wobei die Mikrokanäle senkrecht zur Emissionsrichtung der Laserdiode angeordnet sind und die Wasserzu- bzw. -abfuhrung über einen weiteren strukturierten Siliziumwafer erfolgt, entnommen aus US-PS 5,105,430;

Fig. 12 eine zweidimensionale Anordnung der Silizium-Mikrokanalkühler gemäß Fig. 11, wobei die Laserdioden montiert wurden, entnommen aus der US-PS 5,105,430.

Die Montage von Laserdioden auf Mikrokühler erfordert zum einen wegen der großen Divergenz dieser Halbleiterbauelemente eine Platzierung nahe an der Kante des Kühlers, um Reflexionen der Laserdiodenstrahlung am Kühler zu vermeiden, zum anderen muß der Temperaturgradient entlang der emittierenden Fläche der Laserdiode minimiert werden. Dies ist vor allem für sogenannte Barren mit einer Breite von etwa 10 mm

wichtig, die optische Leistungen von derzeit 20 W Dauerstrich emittieren. Werden die Laserdioden auf Mikrokanalkühler montiert, bei denen die Kanäle durchgehend parallel zur emittierenden Fläche der Laserdiode angeordnet sind, so führt die Erwärmung des Kühlmediums zu einem erheblichen Temperaturgradienten. Aus diesem Grunde müssen die Mikrokanäle parallel zur optischen Achse der Diode orientiert sein. Die Strukturierung von Mikrokanälen in Silizium mittels anisotropen Ätzen erfordert weiterhin die Ausnützung sogenannter Ätzstoppebenen. Diese Kristallebenen minimaler Ätzrate sind die (111)-Ebenen, welche bei einem (110)-Wafer senkrecht zur Oberfläche desselben orientiert sind. Sie treten wegen der Spiegelsymmetrie zweimal auf und bilden mit der (110)-Ebene jeweils einen Winkel von 54.7° (Fig. 1).

Der erfindungsgemäße Mikrokühler nützt nun beide (111)-Kristallebenen des Siliziums als Ätzstoppebenen aus und ermöglicht somit sowohl die Strukturierung von Mikrokanälen mit einer Orientierung annähernd senkrecht zur emittierenden Fläche der Laserdiode als auch die genaue Platzierung des Wassereinlaßbereiches.

Hierdurch können die Mikrokanäle wohl definiert sehr nahe an einer Kante des Mikrokühlers platziert werden und erlauben somit auch die Montage der Laserdiode an einer Kante des Mikrokühlers. In Fig. 1 ist die Lage der Mikrokühler auf einem (110)-Siliziumwafer relativ zu den (111)-Ätzstoppebenen dargestellt. Es ist ersichtlich, daß eine der beiden (111)-Ebenen die Lage der Mikrokanäle definiert, während die zweite (111)-Ebene, welche mit der ersten (111)-Ebenen einen Winkel von 70.5° bildet, zur Begrenzung des Wassereinlaßbereiches genutzt wird. Eine derartige Orientierung des Mikrokühlers erlaubt nun, daß Wasserein- und auslaßbereiche in der Ebene der Mikrokanäle geschaffen und gleichzeitig die Anforderungen an die Montage von Laserdioden erfüllt werden können.

Wie aus Fig. 2 ersichtlich, dient hierzu die eine Ätzstoppebene 1 zur seitlichen Begrenzung der Mikrokanäle 3, die zweite Ätzstoppebene 2 zur Begrenzung des Wassereinlaßbereiches 4 an der Kühlervorderkante 6. Ebene 2 ermöglicht somit, daß der Wassereinlaßbereich 4 ganz nahe an der Kühlervorderkante 6 geführt werden kann und folglich auch die Mikrokanäle 3 sehr nahe an die Kühlervorderkante 6 herangeführt werden können. Weitere auftretende Begrenzungen im Wasserein- und -auslaßbereich weisen ein isotropes Ätzverhalten auf, was aber durch ein Vorhalten in der photolithographischen Maske berücksichtigt werden kann. Das Kühlmedium wird mittels eines geeigneten Wasseranschlusses an die Kühlerkante 7 herangeführt und gelangt über die konisch geformte Wassereinlaßöffnung 8 in den Wassereinlaßbereich 4, der etwa $400\text{ }\mu\text{m}$ breit ist. An der Kühlervorderkante wird es durch die Begrenzungsebene 2 um 90° umgelenkt und fließt parallel zur Kühlervorderkante 6. Der Wassereinlaßbereich 4 verzweigt sich hier in Flußrichtung auf minimal etwa $50\text{ }\mu\text{m}$, um einen gleichmäßigen Eingangsdruck in die Mikrokanäle 3 zu gewährleisten. Das Kühlmedium wird nach Durchströmung der Mikrokanäle 3 im Wasserauslaßbereich 5 gesammelt und verläßt den Mikrokühler durch die Wasserauslaßöffnung 9. Selbstverständlich kann der Mikrokühler auch in umgekehrter Richtung durchströmt werden. Die so in die Kühlerrückseite geschaffene Struktur wird im einfachsten Fall mit einer Glasscheibe durch anodisches Bonden verschlossen.

Die Kühlervorderseite wird mit einer Metallisierung versehen, welche die Montage und die elektrische Kon-

taktierung der Laserdiode ermöglicht. Hierzu muß zuerst eine Haftschrift, beispielsweise Chrom, und anschließend eine löt- und bondfähige Schicht, beispielsweise Gold, aufgebracht und strukturiert werden (punktierte Flächen in Fig. 2). Die Bereiche 11 dienen zur elektrischen Kontaktierung, während der Bereich 10 in Fig. 2 zur Montage und zur elektrischen Kontaktierung der Laserdiode 12 benutzt wird. Zwischen Laserdiode und Mikrokühler kann ein sogenannter "Heatspreader" eingesetzt werden, der die kleine Wärmeleitungsfläche der Laserdiode wesentlich vergrößern und somit die Kühleffizienz um vieles steigert. Die Metallisierungsfläche 10 erstreckt sich deshalb über den gesamten Bereich der Mikrokanäle 3.

Der erfindungsgemäße Mikrokühler nach Fig. 2 ermöglicht wegen der Wasserführung in einer Ebene einen zweiseitigen Aufbau, wie in Fig. 3 dargestellt. Die (110)-Symmetrieebene eines (110)-Siliziumwafers erlaubt eine Anordnung der Mikrokühler derart, daß bezüglich der (110)-Ebene eine Spiegelsymmetrie gegeben ist. Die nach oben beschriebenen Verfahren mittels anisotropen Ätzen hergestellten Mikrokühler eines Siliziumwafers 13 können so mit einem weiteren Siliziumwafer 14, der dieselben Strukturen enthält, verschlossen werden.

Die Verbindung der beiden Siliziumwafer erfolgt mittels Silizium-Silizium Hochtemperaturbonden, Löten oder anodischem Bonden. Bei letzterem wird ein Glaswafer 15, vorzugsweise Pyrexglas oder Borsilikatglas, welcher einen an Silizium angepaßten thermischen Ausdehnungskoeffizient aufweist, unter Temperatur und elektrischer Spannung mit einem der beiden Siliziumwafer 13 verbunden. Zur Minimierung der Dicke eines zweiseitig gekühlten Mikrokühlers wird das Glas anschließend mit einer Ätzlösung auf etwa $50\text{ }\mu\text{m}$ abgedünnt und poliert, um ein weiteres anodisches Bonden mit dem Siliziumwafer 14 zu gewährleisten. Im Bereich der Kühlmittelzu- und -abfuhrbereiche 4, 5 kann das Glas entfernt werden, um den Druckabfall in diesen Bereichen zu verringern. Bei Verbindung der beiden Wafer 13, 14 durch Löten werden das Lot und die erforderlichen Lotbenetzungsschichten 131, 141 auf die strukturierten Kühlerrückseiten aufgedampft. Anschließend erfolgt die Verbindung der beiden Siliziumwafer 13, 14 bei der entsprechenden Lottemperatur. Wird beispielsweise die eutektische Gold-Silizium-Verbindung gewählt, so wird auf die Rückseite eines Siliziumwafers 13 eine dünne Goldschicht 131 von etwa 100 nm aufgedampft. Der Glaswafer 15 in Fig. 3 entfällt. Anschließend werden die beiden Wafer 13, 14 zueinander justiert und auf etwa 400°C erwärmt. Hierdurch diffundiert das Gold in die Grenzflächen beider Siliziumwafer und es kommt zu einer dauerhaften Verbindung beider Wafer. Auf diese Weise und bei Verwendung anderer Löttechniken bzw. Silizium-Silizium Hochtemperaturbonden entstehen Mikrokühler, deren Strukturtiefe doppelt so groß ist, wie die herkömmlich strukturierter Silizium Mikrokühler. Dies führt zu verringerten Druckabfällen im Kühlmittelzu- und -abfuhrbereich sowie einer erhöhten Effizienz der Mikrokühler.

Weiterhin sind durch den symmetrischen Aufbau auf beiden Kühleroberflächen 132, 142 identische Kühleffizienzen gegeben, weshalb eine zweiseitige Montage von Wärmequellen möglich ist. Werden die Kühleroberflächen 132, 142 mit den entsprechenden Haft- und Verbindungsschichten, sowie Diffusionsbarrieren, Lotbenetzungsschichten und Lot-, bzw. Bondschichten versehen 133, 143 und strukturiert, so lassen sich beidseitig

Laserdioden oder Laserdioden gelötet auf Heatsprea-
der montieren und elektrisch kontaktieren. Die Metalli-
sierung 133, 143 beider Kühleroberflächen 132, 142 ist
entsprechend der Fig. 2 ausgeführt.

Der Heatspreader kann auch auf die Mikrokühler in-
tegriert werden, indem auf die Kühleroberflächen 132,
142 im Bereich der Metallisierung 10 galvanisch Kupfer
abgeschieden wird. Als leitfähige Startschicht dient die
oben beschriebene Metallisierungsschichten von
Chrom und Gold, auf der mittels Photolithographie der
Galvanisierungsbereich festgelegt wird. Nach erfolgter
Galvanisierung wird das zur Montage der Laserdiode
nötige Lot, beispielsweise $\text{Au}(80)\text{Sn}(20)$, aufgebracht
und anschließend der Photolack entfernt. Zuletzt wird
die Metallisierung gemäß Fig. 2 strukturiert.

Die Mikrokühler können auf diese Weise gänzlich im
batch-processing hergestellt werden. Als letzter Ar-
beitsschritt erfolgt die Vereinzelung der Mikrokühler.

In einem Aufbau nach Fig. 4 sind die Laserdioden 12a,
12b mittels $\text{Au}(80)\text{Sn}(20)$ Lot bei einer Lottemperatur
von etwa 320°C auf Diamant Heatspreader 16a, 16b
montiert, um die Wärmeleitungsfläche der Laserdioden
zu vergrößern. Typische Dicken des Diamantes lie-
gen bei $300\text{ }\mu\text{m}$. Die Kühleroberflächen 132, 142 werden
mit einer, entsprechend in Fig. 2 beschriebenen, struktu-
rierten Metallisierung 10, 11 versehen. Die Montage der
Heatspreader 16 auf die Kühleroberflächen 132, 142 er-
folgt nacheinander mittels Löten oder Kleben. Hierbei
wird die Temperatur bei Montage des ersten Heat-
spreader 16a oberhalb der Montagetemperatur des
zweiten Heatspreaders 16b, jedoch unterhalb der Lot-
temperatur von $\text{Au}(80)\text{Sn}(20)$ -Lot gewählt. Im Falle bi-
närer Lote, beispielsweise PbSn -Lote, läßt sich der
Schmelzpunkt durch das Mischungsverhältnis von Blei
und Zinn variieren. Die Lote können entweder direkt
galvanisch auf die Metallisierung aufgebracht werden,
oder als preform Lote ähnlich wie Kleber aufgebracht
werden.

Die elektrische Kontaktierung der Laserdiode erfolgt
zum einen über das Lot und den allseitig metallisierten
Heatspreader und wiederum Lot auf die Metallisierung
10, (Fig. 2) des Mikrokühlers. Der elektrische Kontakt
zwischen den Metallisierungsflächen 11 (Fig. 2) und der
Oberseite der Laserdiode erfolgt mittels Drahtbonden
17.

In Fig. 5 ist ein weiteres Ausführungsbeispiel des er-
findungsgemäßen Mikrokühlers dargestellt. In diesem
Fall wird der in Fig. 2 beschriebene Siliziumwafer auf
der Kühlerunterseite 131 mit einer lötfähigen Metalli-
sierung, beispielsweise Chrom/Gold beschichtet. Zum
Verschluß der Kühlmittel-durchflossenen Strukturen
wird ein Material guter Wärmeleitung 18, beispielsweise
CVD Diamant, welcher geeignet metallisiert und einsei-
tig mit einem Lot, beispielsweise $\text{Au}(80)\text{Sn}(20)$ beschich-
tet ist, auf den Siliziumwafer aufgelötet. Auf diese Weise
entsteht ein sehr kompakter Mikrokühler, der wegen
der guten Wärmeleitung des Abschlußwafers 18 eben-
falls für eine zweiseitige Montage von Laserdioden ge-
eignet ist.

Die elektrische Kontaktierung der Laserdiode erfolgt
auf die strukturierte Metallisierungsschicht des Mikro-
kühlers, wie oben beschrieben.

Ein Kontakt befindet sich auf der Metallisierungsflä-
che 10 (Fig. 2), der andere auf den Flächen 11 (Fig. 2).
Die Kontaktierung der metallisierten Kühleroberflä-
chen wird durch ein Lot auf die in Fig. 6 gezeigte Leiter-
platte hergestellt. Hierzu wird eine Leiterplatte 19, die
im einfachsten Fall eine Monolayer-Leiterplatte ist, mit

Leiterbahnen 20, 21, 22 beschichtet. Die Leiterplatte 19
weist eine Öffnung 23, die für die Durchführung des
zweiseitig gekühlten Silizium-Mikrokühlers 24 geeignet
ist auf. Die Leiterbahnen 20, 21, 22 sind so ausgeführt,
daß sie mit der Kante der Durchführung 23 an den
entsprechenden Stellen 201, 211, 221 bündig ist. Nach-
dem der Mikrokühler 24 durch die Leiterplattenöffnung
23 geführt worden ist, erfolgt die elektrisch leitende
Verbindung zwischen den metallisierten Kühleroberflä-
chen 10, 11 und den Leiterbahnen 20, 21, 22 durch Auf-
bringen eines elektrisch leitenden Klebers oder mittels
Löten. Hierzu wird vor der Durchführung des Mikro-
kühlers 24 sowohl auf die metallisierten Flächen des
Mikrokühlers 10, 11, als auch auf die Kanten der Leiter-
bahnen 201, 211, 221 ein Lot derart aufgebracht, daß sich
nach der Durchführung des Mikrokühlers 4 durch die
Leiterplatte 19 diese Lotbereiche berühren. Eine elek-
trisch leitfähige Verbindung wird durch Erwärmen der
gesamten, in Fig. 6 gezeigten Einheit oberhalb der Lot-
temperatur erreicht. Eine elektrische Versorgungsein-
heit 25 wird nun mittels Kabel und entsprechenden
Steckkontakten an die Leiterbahnen 20 und 22 ange-
koppelt und somit die elektrische Kontaktierung der
Laserdioden vorgenommen. Die Leiterbahn 21 dient zur
elektrischen Verbindung der beiden Laserdioden 12a,
12b und ist derart ausgeführt, daß die Laserdioden 12a,
12b in Reihe geschaltet sind.

Die Kühlmittelversorgung der Mikrokühler erfolgt
durch die Montage der in Fig. 6 beschriebenen Einheit
auf eine Grundplatte, die geeignet ausgeformte Kühl-
mittel zu- und -abführungs Kanäle sowie einen Aufnah-
mebereich für den Mikrokühler 24 enthält. Hierzu wer-
den in eine Grundplatte 27, vorzugsweise aus Metall
oder Kunststoff, Löcher für die Kühlmittelzufuhr 28 und
Kühlmittelabfuhr 29 durch Bohren oder Fräsen geschaf-
fen, wie in Fig. 12 dargestellt. Diese Löcher sind in ei-
nem derartigen Abstand angebracht, daß nach Montage
der Mikrokühler 24 der Einlaßbereich 8 und der Auslaß-
bereich 9 der Mikrokühler 24 über den entsprechenden
Öffnungen 28, 29 der Grundplatte 27 angeordnet sind.
Zur Aufnahme der Mikrokühler 24 wird in die Grund-
platte 27 eine Öffnung gearbeitet, typischerweise durch
Fräsen, die in ihren Abmaßen denen des Mikrokühlers
entspricht und senkrecht zu den Kühlmittelversor-
gungskanälen 28, 29 orientiert ist. Die Tiefe dieser Öff-
nung liegt bei etwa 1 mm. Auf die Grundplatte 27 wird
die Leiterplatte 19 mittels Kleben oder anderer Verbin-
dungstechnik derart aufgebracht, daß die Öffnungen für
die Durchführung der Mikrokühler deckungsgleich
übereinander zu liegen kommen. Anschließend wird der
Mikrokühler 24 durch die beiden Öffnungen so weit
eingeführt, daß die Einlaß- 28 und Auslaßkanäle 29 der
Grundplatte 27 nur noch über die Kühlmittelstrukturen
im Mikrokühler 24 miteinander verbunden sind, und in
der Grundplatte 27 durch Kleben oder Löten senkrecht
zur Leiterplatte 19 bzw. Grundplatte 27 befestigt. Die
Verbindung dichtet gleichzeitig den Kühlmittelkreislauf
ab. Die elektrische Kontaktierung zwischen Mikroküh-
ler 24 und Leiterplatte 19 wird dann wie oben beschrie-
ben vorgenommen. Die elektrische Versorgungseinheit
25 wird über die Steckkontakte (30) mit den Leiterbah-
nen 20, 22 verbunden.

Derartige Mikrokühler erlauben in Verbindung mit
der beschriebenen Montagetechnik die Anordnung
mehrerer Kühlermodule 24 auf einer Grundplatte 27.
Hierzu müssen die Kühlmittelversorgungs Kanäle 28, 29
und die Aufnahmebereiche für die Kühlermodule 24 in
der Grundplatte 27 so ausgebildet sein, daß alle Kühler-

module 24 nach der Montage den Kühlmittelzufuhrbereich 28 vom Kühlmittelabfuhrbereich 29 trennen und mit denselben in unmittelbarer Verbindung stehen. Die Leiterplatte, welche zur elektrischen Kontaktierung der Kühlermodule 24 dient, weist eine Struktur von Leiterbahnen derart auf, daß — analog zu Fig. 6 — sämtliche Laserdioden in Reihe geschaltet sind. Hierzu wird, abweichend zu Fig. 6, eine Leiterbahn 22 von Kontakt 11b des Kühlermoduls 24a zu Kontakt 10 des Kühlermoduls 24b geführt. Da hinsichtlich einer hohen Packungsdichte der Kühlermodule 24 der Raum zwischen den Kühlermodulen für die Führung der Leiterbahnen stark begrenzt ist, kann eine Multilayer-Leiterplatte Verwendung finden, wobei sich jedoch die Kontaktierungsflächen 201, 211, 221 immer auf der obersten Schicht der Multilayer Leiterplatte befinden müssen. Dies bedingt eine Führung von Leiterbahnen in mehreren Ebenen nach dem Stand der Technik.

Bei Verwendung von 300 µm dicken Siliziumwafern zur Strukturierung der Mikrokanalkühler sowie etwa 300 µm dicken Heatspreadern, vorzugsweise aus Diamant, ergibt sich eine typische Dicke des Kühlermoduls von etwa 1,5 mm bei beidseitiger Montage von Halbleiterlaserdioden. Mit einem Abstand der Kühlermodule von weiteren 300 µm, der für die Führung der Drahtbonds zur Kontaktierung der Laserdioden nötig ist, lassen sich somit fünf Kühlermodule auf einer 1 cm langen Grundplatte 27 anordnen.

Eine zweidimensionale Anordnung der Mikrokanalkühler ist in der Fig. 7 skizziert.

Patentansprüche

1. Silizium-Mikrokanalkühler zur Kühlung von Hochleistungslaserdioden unter Verwendung unterschiedlicher Ätzraten mittels anisotropen Ätzverfahrens verschiedener kristallographischer Ebenen des Siliziums in alkalischen Laugen, wobei sich die geringste Ätzrate entlang der (111)-Ebene einstellt, die bei Verwendung eines Siliziumwafers mit einer (110)-Orientierung senkrecht zur Wafer-Oberfläche steht, dadurch gekennzeichnet, daß auf einem (110)-Siliziumwafer unter Ausnutzung beider (111)-Ätzstoppebenen gleichzeitig sowohl die Mikrokanäle (3) als auch die Kanäle für die Kühlmittelzufuhr (8) und die Kühlmittelaustrittsöffnung (9) eines Mikrokanalkühlers strukturiert sind, dessen Kühlervorderkante und -rückkante (7, 8), welche sich nach der Vereinzelung des Siliziumwafers (13, 14) ergeben, parallel zu einer der beiden (111)-Ebenen ausgerichtet sind, welche ebenso zur einseitigen Begrenzung des Kühlmittelzu- und -abfuhrbereiches dient, und dessen Mikrokanäle (3) parallel zur zweiten (111)-Ätzstoppebene angeordnet sind, wobei diese mit der Kühlervorderkante (7) einen Winkel von 70,5° bilden und die Enden der Mikrokanalstege zur einseitigen Begrenzung des Kühlmittelzu- und -abfuhrbereiches dienen, welche sich in der Ebene der Mikrokanäle (3) befinden und gemeinsam mit den Mikrokanälen (3) mittels eines Deckwafers aus Pyrexglas (13, 14) einen Kühlmittelkreislauf bildend verschlossen wird.

2. Silizium-Mikrokanalkühler nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Kanal für die Kühlmittelzuführung (8), welcher sich an einer Seite und an der Vorderkante des Mikrokanalkühlers befindet, sich an der Kühlervorderkante (6) in Flußrichtung des Kühlmittels verjüngt.

3. Silizium-Mikrokanalkühler nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß Öffnungen (4, 5) für die Zu- und -abfuhr (8, 9) des Kühlmittels über in einer Stirnseite der Mikrokanalkühler angeordnet sind, die sich nach der Vereinzelung des Siliziumwafers (13, 14) ergeben.

4. Silizium-Mikrokanalkühler nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß metallisierte Bereiche (133, 143) auf der Kühleroberfläche (10) zur Montage und elektrischen Kontaktierung der Laserdiode (12), räumlich von der Führung des Kühlmittels getrennt angeordnet sind.

5. Silizium-Mikrokanalkühler nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß aufgrund eines Winkels zwischen Mikrokanälen (3) und Kühlervorderkante (6) von 70,5° ein vernachlässigbarer Temperaturgradient entlang der Kühlervorderkante (6) gebildet wird, der sich auch auf die etwa 10 mm langen, auf den Mikrokanalkühler (3) montierten Laserdiodenbarren (12a, 12b) erstreckt.

6. Silizium-Mikrokanalkühler nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die elektrische Kontaktierung der Laserdiode (12) auf die strukturierte Metallisierung (133, 143) der Kühleroberfläche (132, 142) zum einen über die Montagefläche und somit auch über einen Heatspreader (16), zum anderen mittels Drahtbonden (17) von der Oberseite der Laserdiode (12) auf die freibleibende Metallisierung (133, 134) erfolgt.

7. Silizium-Mikrokanalkühler nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Heatspreader (16) auf dem Mikrokanalkühler integriert ist, indem lokal begrenzt ein Metall guter Wärmeleitung, beispielsweise Kupfer, galvanisch oder mittels anderer Techniken aufgebracht ist.

8. Silizium-Mikrokanalkühler nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Mikrokanalkühler in einer Grundplatte (27) befestigt ist, welche geeignet ausgeformt und räumlich getrennte Kanäle (3) für die Kühlmittelzu- und -abfuhr (4, 5), sowie eine entsprechende Aufnahme für die Mikrokanalkühler senkrecht zu den Kühlmittelkanälen enthält, so daß nach der Montage des Mikrokanalkühlers in die Grundplatte (27) dieser mit Kühlmittel versorgt wird und ein geschlossener Kühlmittelkreislauf entsteht.

9. Silizium-Mikrokanalkühler nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die elektrische Kontaktierung (11) der metallisierten Kühleroberfläche (24) durch eine auf die Grundplatte (27) montierte Leiterplatte (19) erfolgt, die sowohl eine Durchführung (23) für den Mikrokanalkühler aufweist, als auch geeignet ausgebildete Leiterbahnen (20 bis 22), welche ganz an die Durchführung (23) reichen und entsprechend der strukturierten Metallisierung (133, 143) der Kühleroberflächen (132, 142) ausgeführt sind, so daß mittels elektrisch leitendem Kleber oder Lötens eine elektrisch leitfähige Verbindung zwischen den Leiterbahnen (20 bis 22) und den metallisierten Abschnitten der Kühleroberflächen (132, 142) entsteht.

10. Silizium-Mikrokanalkühler nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die einzelnen Mikrokanalkühler spiegelsymmetrisch bzgl. der (110)-Ebene auf dem (110)-Siliziumwafer (13, 14) angeordnet sind.

11. Silizium-Mikrokanalkühler nach einem der An-

sprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß ein strukturierter Siliziumwafer (13) zum Verschluß der Kanalstrukturen mit einem weiteren, spiegelbildlich strukturierten Siliziumwafer (14) mittels Silizium-Silizium Hochtemperaturbonden verbunden wird und somit ein zweiseitig gekühltes Kühlermodul (24a) gebildet wird, welches auf beiden Kühleroberflächen eine identische Kühleffizienz und damit auch eine gleiche Temperaturverteilung aufweist, sowie einen geringeren Druckabfall wegen der größeren Kanalquerschnitte bedingt.

12. Silizium-Mikrokanalkühler nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Siliziumwafer (13, 14) durch eine eutektische Gold-Silizium-Verbindung miteinander verbunden sind, indem einseitig auf einen Wafer (13 oder 14) rückseitig eine dünne Goldschicht (131) aufgebracht wird und die Verbindung einer Temperatur von etwa 400°C ausgesetzt ist.

13. Silizium-Mikrokanalkühler nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Verbindung der beiden Siliziumwafer (13, 14) mittels anodisch Bonden und einem Glaswafer (15) als Bondhilfe erfolgt, wobei das Glas durch Ätzen abgedünnt und anschließend durch Lappen und Polieren wieder bondfähig ist.

14. Silizium-Mikrokanalkühler nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß der Glaswafer (15) an den Stellen des Kühlmittelzu- und -abfuhrbereiches (4, 5) mittels Ätzen unterbrochen ist.

15. Silizium-Mikrokanalkühler nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß zur Verbindung der beiden Siliziumwafer (13, 14) einseitig auf der Rückseite eines Siliziumwafers ein geeignetes Lot bei der entsprechenden Lottemperatur aufgebracht ist.

16. Silizium-Mikrokanalkühler nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Strukturen eines Siliziumwafers (13, 14) mit einem Material guter Wärmeleitung, beispielsweise Diamant, mittels Löten oder Kleben verschlossen werden.

17. Silizium-Mikrokanalkühler nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Herstellung der Mikrokanalkühler bzw. Kühlermodule (24a, 24b) einschließlich der, zur Montage (10) und elektrischen Kontaktierung (11) nötigen Metallisierung (133, 143) sowie eventuelle Lot- oder Lotbenetzungsschichten (131) im batch-processing erfolgt und somit die Vereinzelung der Mikrokanalkühler bzw. Kühlermodule (24a, 24b) den letzten Herstellungsschritt darstellt.

18. Silizium-Mikrokanalkühler nach einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß auf ein beidseitig gekühltes Kühlermodul (24a, 24b) sukzessive beidseitig Hochleistungslaserdioden oder Laserdioden (12a, 12b) gelötet auf Heatspreader (16a, 16b) montiert werden, wobei die Lottemperatur des zweiten Montagevorgangs unter der des ersten Montagevorgangs gewählt werden muß, was durch unterschiedliche Lote oder Lotzusammensetzungen erreicht wird.

19. Silizium-Mikrokanalkühler nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß die elektrische Kontaktierung (10) der Laserdioden (12a, 12b) zum einen über die Montagefläche und den optionellen Heatspreader (16a, 16b), zum anderen über Drahtbonden zu den metallisierten Bereichen der Küh-

leroberfläche (133, 143) erfolgt.

20. Silizium-Mikrokanalkühler nach einem der Ansprüche 1 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Laserdioden (12) mittels Leiterplatte (19) und darauf geeignet geführten Leiterbahnen (20 bis 22) elektrisch in Reihe geschaltet sind.

21. Silizium-Mikrokanalkühler nach einem der Ansprüche 1 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß die beidseitig gekühlten Kühlermodule (24a, 24b) nebeneinander in einer Grundplatte (27) montiert werden, wodurch eine Parallelschaltung der einzelnen Kühlermodule (24a, 24b) im Kühlkreislauf erfolgt, und sich somit eine Skalierung der optischen Leistungsdichte von Hochleistungslaserdioden (12) erreichen läßt.

22. Silizium-Mikrokanalkühler nach einem der Ansprüche 1 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß die einzelnen Kühlermodule (24a, 24b) mittels einer Leiterplatte (19) und darauf geeignet geführten Leiterbahnen (20 bis 22) elektrisch in Reihe geschaltet sind.

23. Silizium-Mikrokanalkühler nach Anspruch 21 oder 22, dadurch gekennzeichnet, daß jeweils nach der Montage eines Kühlermoduls (24a, 24b) dessen Funktion getestet werden kann, bevor weitere Kühlermodule (24) montiert werden.

24. Silizium-Mikrokanalkühler nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß die Leiterplatte (19) als Multilayer-Leiterplatte ausgebildet ist, wobei sich jedoch an den Kontaktierungsstellen zu den Mikrokanalkühlern (24) die Leiterbahnen (20 bis 22) auf der obersten Ebene befinden.

Hierzu 7 Seite(n) Zeichnungen

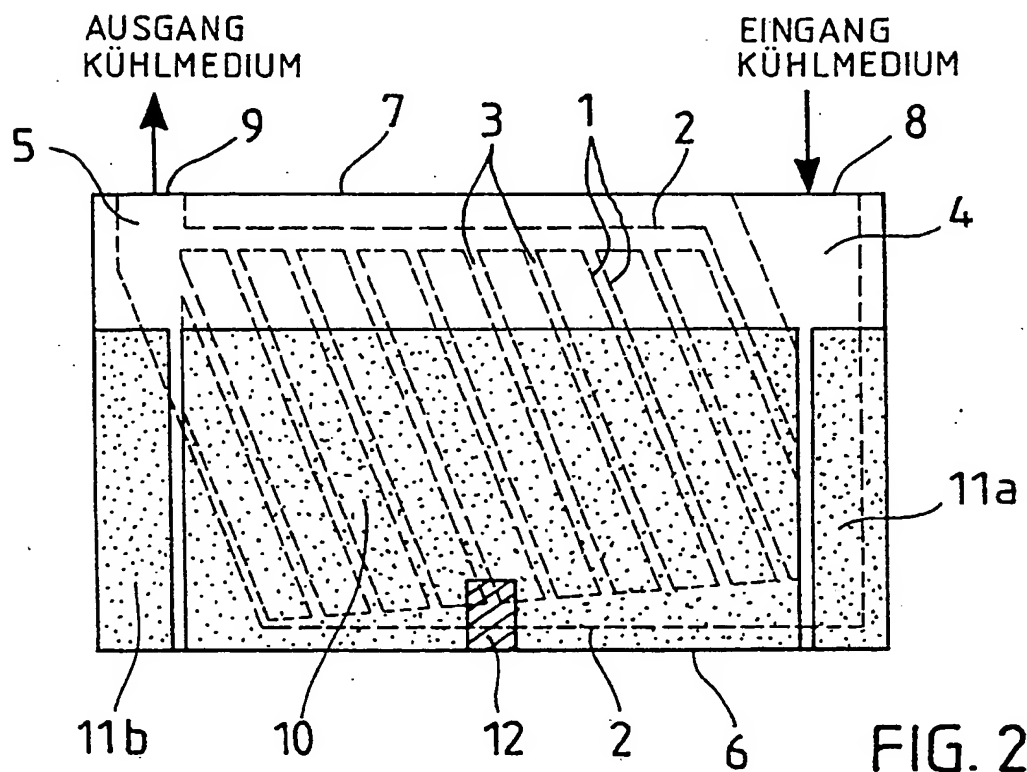
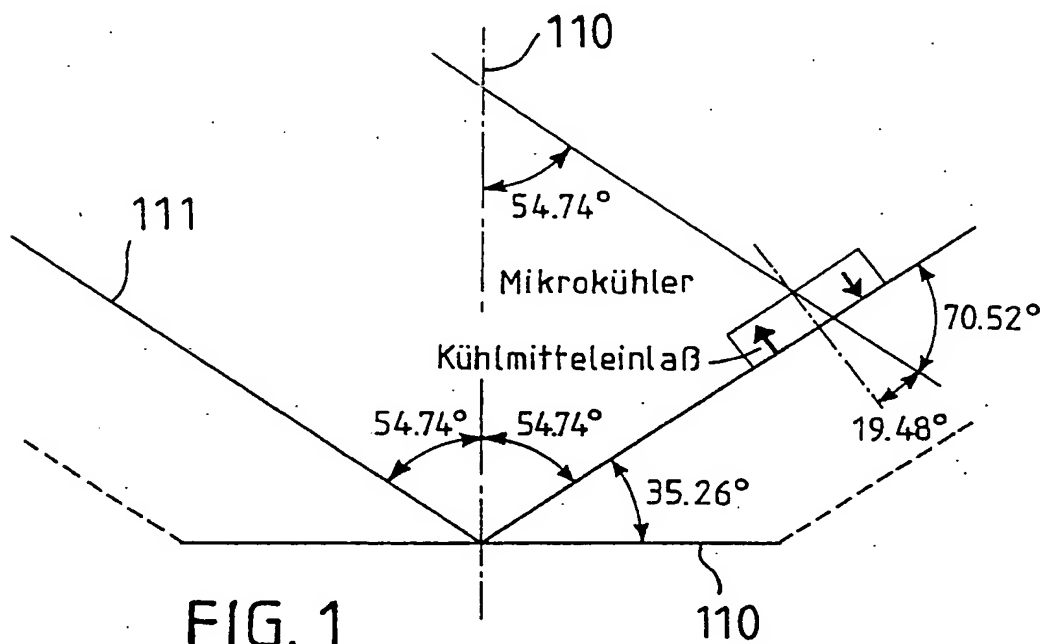


FIG. 3

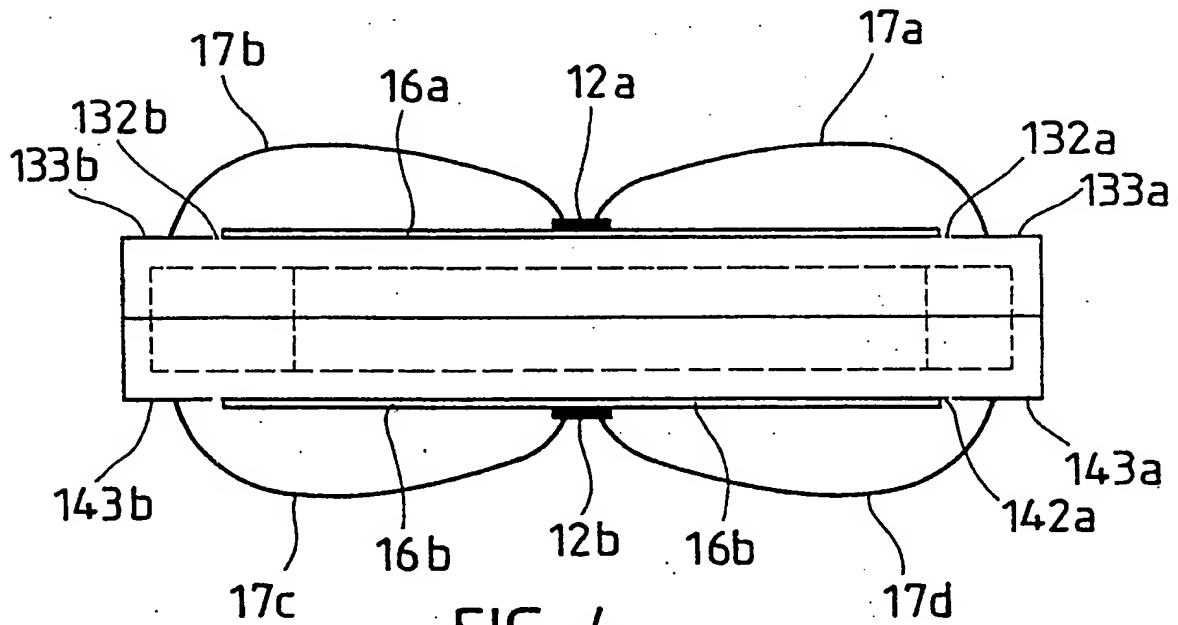
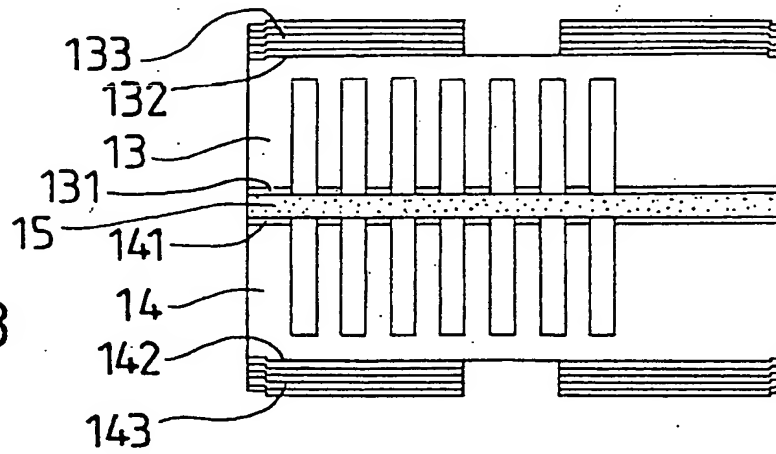


FIG. 4

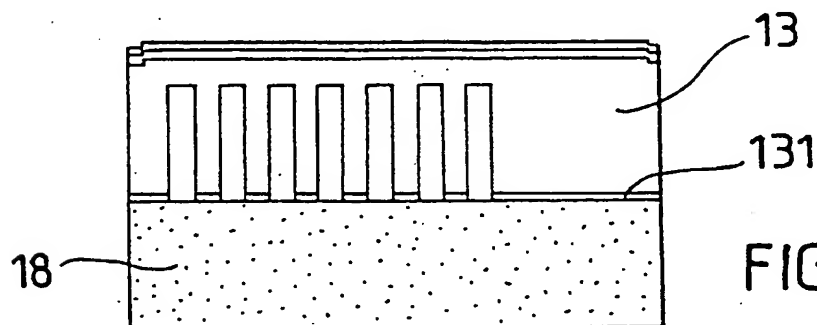


FIG. 5

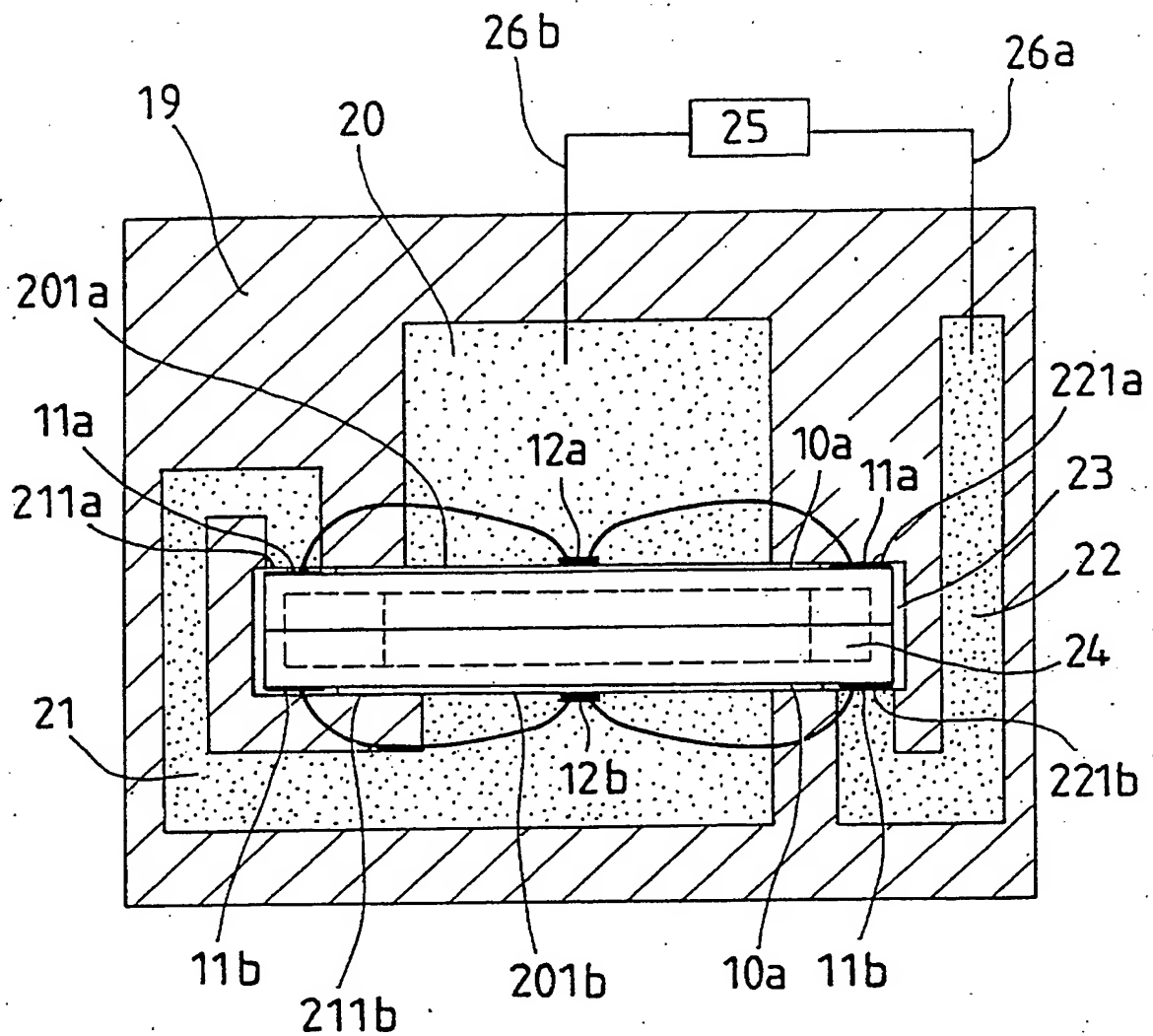


FIG. 6

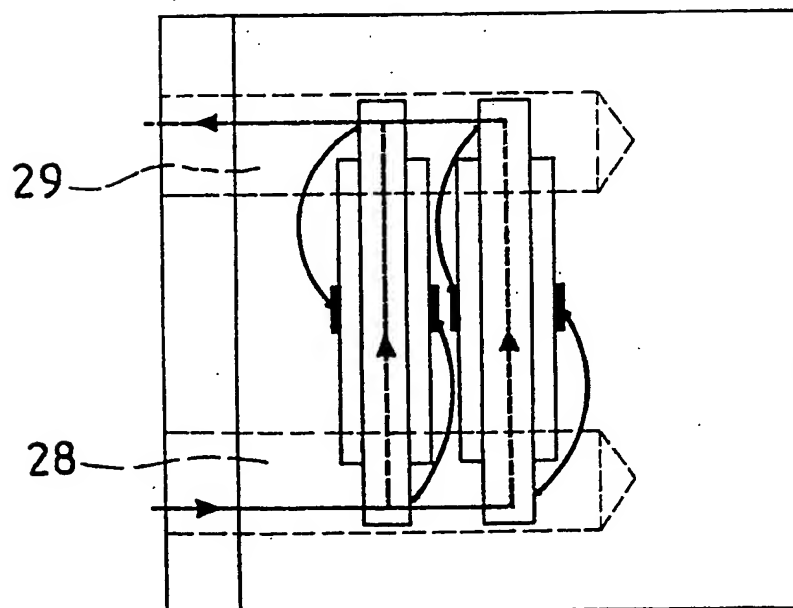
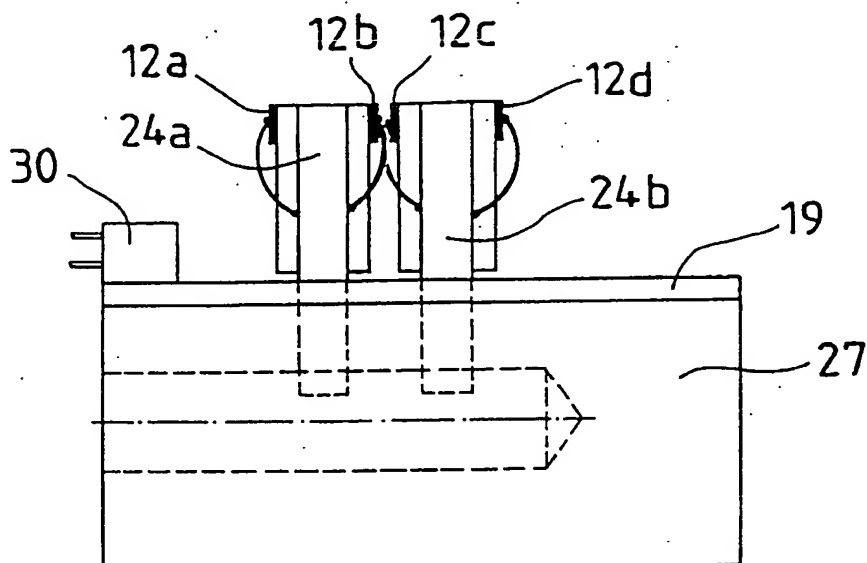
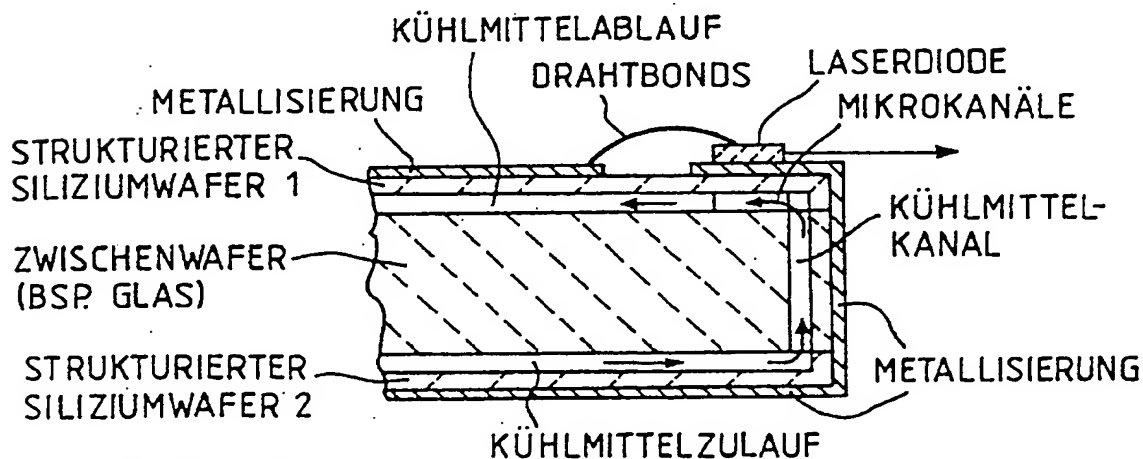
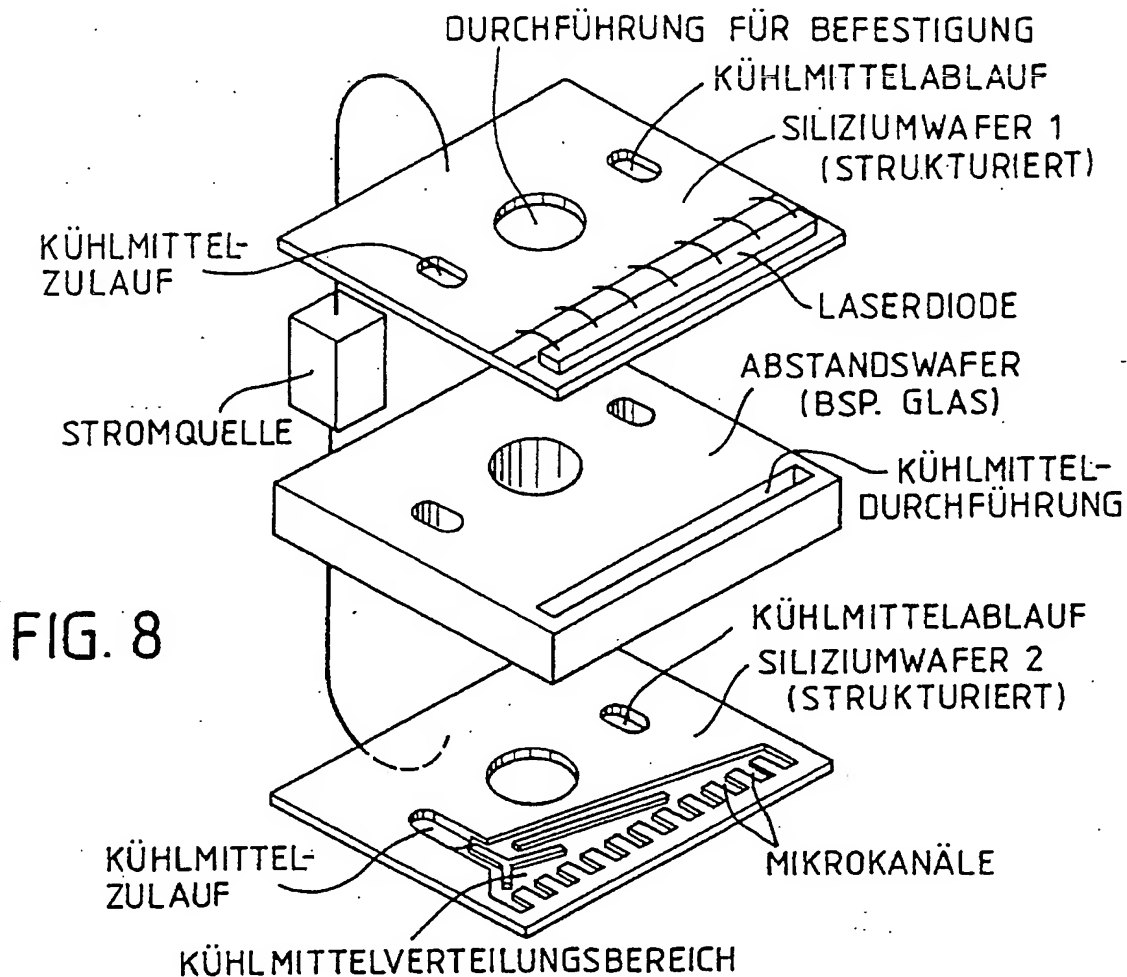
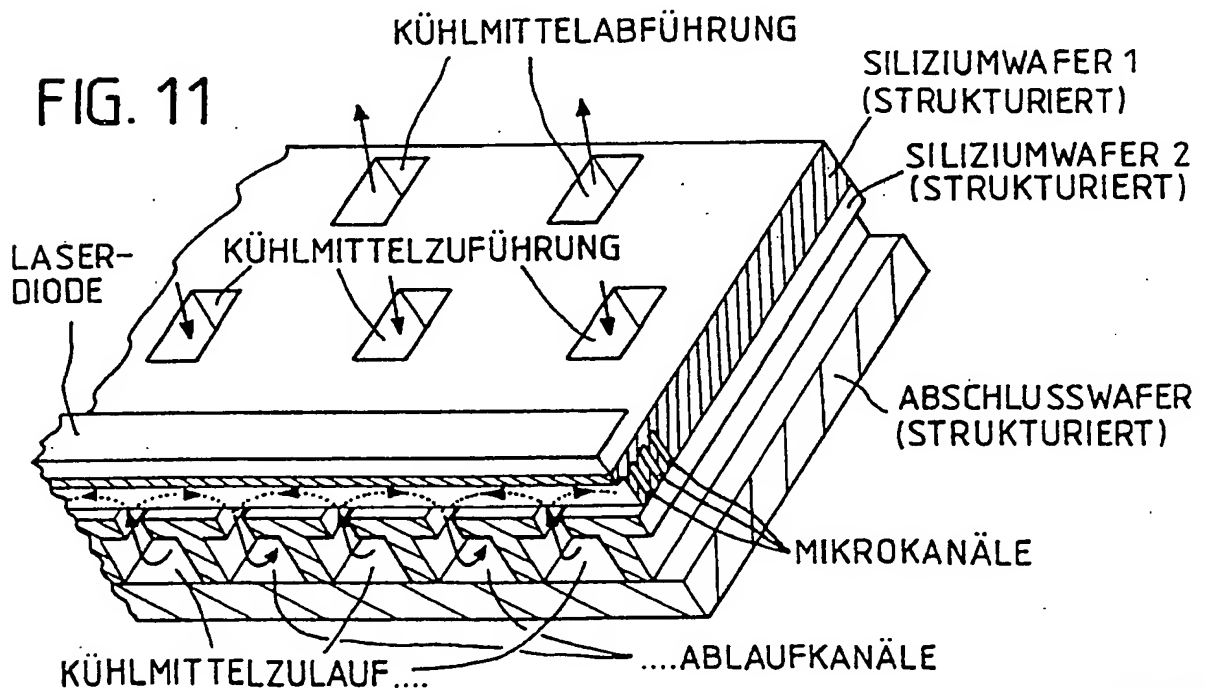
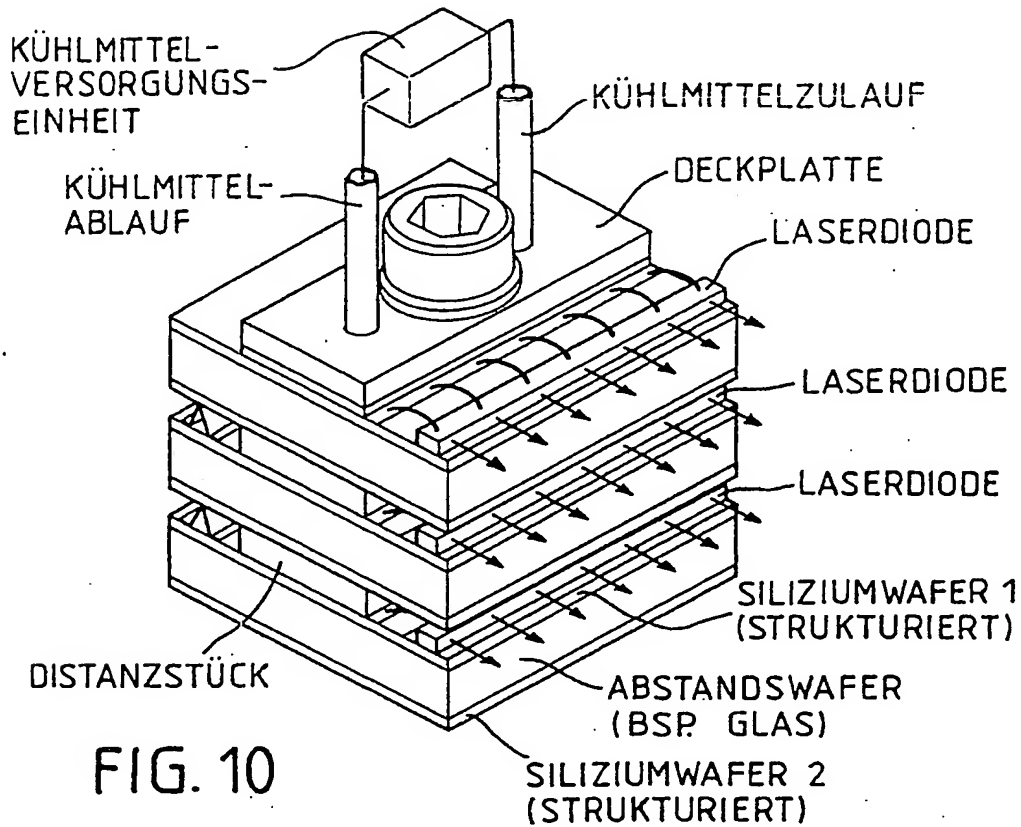


FIG. 7





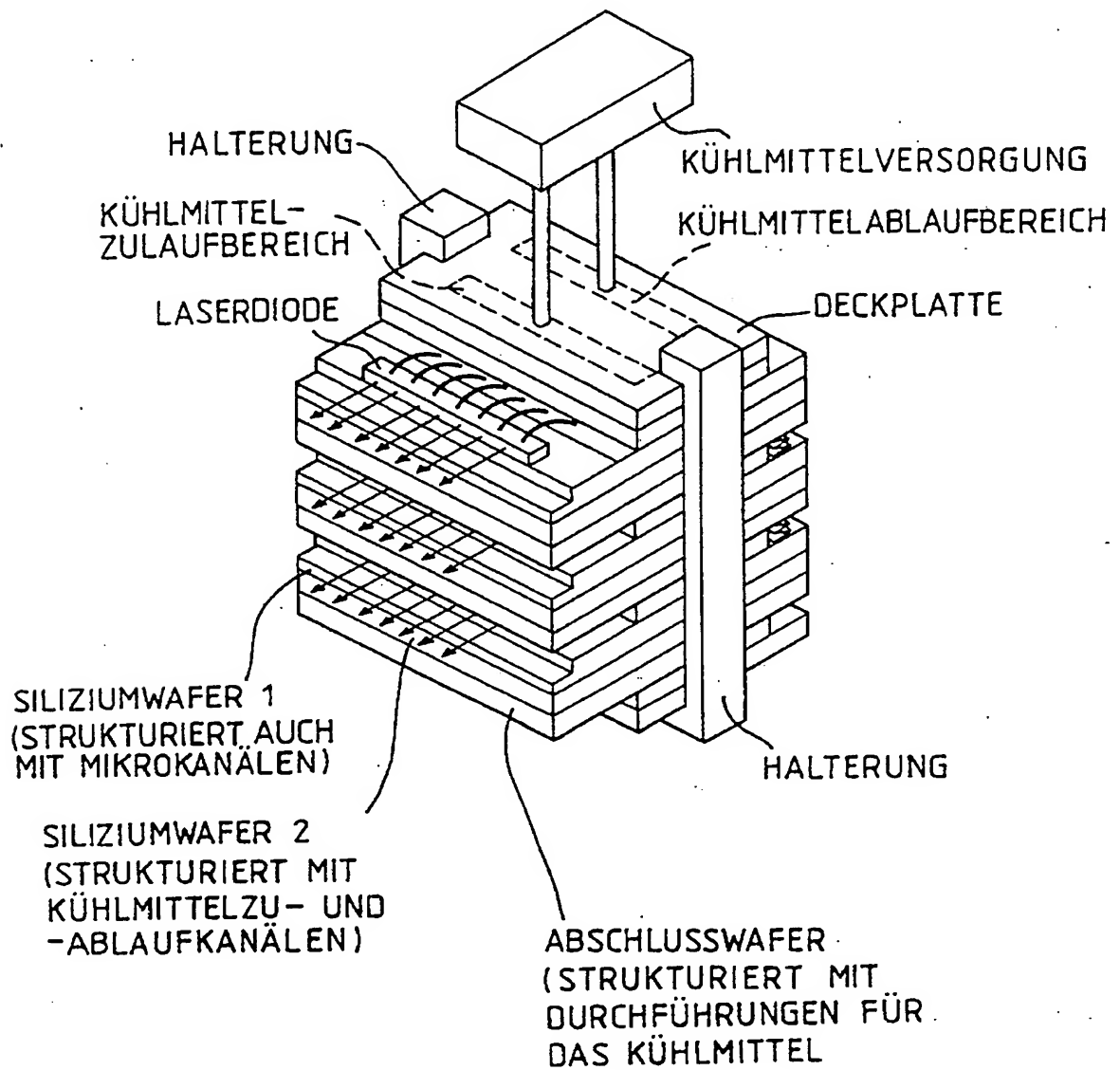


FIG. 12

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINE(S) OR MARK(S) ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☒ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.